

En conclusion, on constate de nombreux rapports entre champignons et végétaux verts. Dans les cas du mycorhizisme, la présence de l'associé fongique est fort heureuse pour son hôte, même si les services rendus ne sont pas absolument gratuits. Cette symbiose, bénéfique autant pour le champignon que pour la plante qui l'héberge, semble être le type de l'association à bénéfices réciproques dont les auteurs nous entretiennent si volontiers.

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER, G.: *Observations sur l'écologie des champignons supérieurs*. Rodez 1956.
BECKER, G.: *La vie privée des champignons*. Paris 1952.
BOULLARD, B. et MOREAU, R.: *Sol, microflore et végétation*. Paris 1961.
BOURDOT, H. et GALZIN, A.: *Hyménomycètes de France*. Sceaux 1927.
FAVRE, J.: *Les associations fongiques des Hauts-Marais jurassiens*. Berne 1948.
FAVRE, J.: *Les champignons supérieurs de la zone alpine du Parc national suisse*. Liestal 1955.
HEIM, R.: *Les champignons d'Europe*. T. I et II. Paris 1957.
KONRAD, P. et MAUBLANC, A.: *Les Agaricales*. T. I et II. Paris 1948 et 1952.
MAUBLANC, A.: *Les champignons de France*. 2 vol. Paris 1956.

LES SCIENCES DU QUATERNAIRE, UN EXEMPLE DE COLLABORATION DE PLUSIEURS DISCIPLINES

par Marcel Burri, géologue

L'étude du Quaternaire intéresse de nombreuses sciences, tant par ses méthodes que par ses résultats: géologues, botanistes, zoologues, océanographes, climatologues, astronomes, archéologues et anthropologistes peuvent être amenés à collaborer plus ou moins étroitement. Chaque « spécialiste » est bien obligé de se mêler un peu du travail de ses voisins, quand ce ne serait que pour en comprendre le langage, sans toujours saisir les difficultés, les limites et les nuances des disciplines étrangères. De cette situation sont nés de nombreux malentendus: il est parfaitement normal que deux géologues ne soient pas du même avis sur le nombre des glaciations; mais ce qui est regrettable, c'est que leurs positions respectives soient mal comprises par leurs collègues et souvent érigées en dogmes.

Le but de ce petit article est de montrer la complexité du problème vu par un géologue. Peut-être pourrais-je faire ainsi comprendre la vanité de toute affirmation catégorique, de tout dogme et la nécessité d'un certain scepticisme vis-à-vis de ses propres méthodes. C'est entre archéologues et géologues que le dialogue est le plus souvent engagé et c'est entre eux qu'existent les plus profonds malentendus. La Géologie est sollicitée pour des résultats que, pour l'instant, elle n'est pas à même de fournir. Nous verrons le pourquoi de cette incapacité, et l'espoir réel de solutions toujours plus satisfaisantes grâce à des méthodes en perpétuelle évolution.



L'ère Quaternaire, qui a duré environ 1 million d'années, est caractérisée, comme chacun le sait, par le phénomène des glaciations. L'expansion des glaciers n'est que la manifestation locale de fluctuations climatiques qui affectèrent toute la surface du globe. Les glaciers, en effet, ne prirent un grand développement que dans les massifs montagneux des latitudes moyennes et élevées soumis à un climat humide. Si ces trois conditions n'étaient pas remplies, il n'y avait pas de glaciation: l'extrême Nord du Groënland, massif montagneux situé sous le 76e degré de latitude Nord ne fut jamais recouvert par les glaces car les précipitations y sont très faibles.

L'expansion des glaciers mobilisa sur le continent de grandes quantités d'eau, le niveau de l'océan s'abaisse de plusieurs dizaines de mètres: la ligne des côtes changea totalement. Tout en fut affecté à la surface du globe: régime des fleuves, des vents et des précipitations, aires de répartition des espèces animales et végétales. Le géologue doit, théoriquement, étudier toutes ces modifications. Or chaque type de modification a ses méthodes: une étude de la zone côtière ne se fait pas de la même manière qu'une étude de moraines. De nombreuses contradictions résultent de la diversité des méthodes utilisées. Les exemples qui suivent vont le prouver.

La seule méthode vraiment satisfaisante est la vieille méthode stratigraphique: étude de coupes ouvertes dans des terrains fossilifères. Les couches y sont superposées les unes aux autres et les fossiles permettent de délimiter des ensembles qui n'apparaissent pas forcément dans la lithologie. L'utilisation des fossiles est malheureusement extrêmement délicate dans le Quaternaire et nous verrons que leur interprétation conduit à des hypothèses douteuses. Ce sont les botanistes qui ont trouvé la solution de ce problème: grâce à l'étude des pollens

contenus dans les sédiments, ils ont fait faire des progrès spectaculaires à nos connaissances du Quaternaire. A défaut de fossiles caractéristiques, un spectre pollinique est établi, spectre où les différentes proportions de chaque plante sont représentées. Ce spectre reflète ainsi la composition de la forêt ancienne et il peut être caractéristique d'une époque et d'une région donnée.

Cette question ainsi résolue, il restait à trouver des coupes stratigraphiques complètes des terrains quaternaires. Or de telles coupes sont rares: l'érosion n'a pas encore eu le temps de les mettre à jour. De plus une coupe idéale devrait montrer des couches en continuité les unes avec les autres: la région doit donc avoir été le lieu d'une sédimentation continue. Il a fallu de très longues recherches pour localiser une telle région.

La Hollande, installée sur le delta du Rhin, pour son malheur, s'enfoncé progressivement sous la mer. Au fur et à mesure de son enfoncement, le continent se reconstitue grâce au matériel apporté par le Rhin et par la Meuse. De nombreux forages ont permis de déterminer que la base des terrains quaternaires se trouvait, au droit de la côte actuelle, à 600 m de profondeur. La subsidence a donc été de 600 m en 1 million d'années, ce qui est énorme. Lors des glaciations, le niveau de la mer baissait considérablement et le pays était émergé; la sédimentation y était continentale (sables du Rhin et de la Meuse). Lors des interglaciaires, le niveau de la mer montait, noyait le pays où des sédiments marins s'accumulaient. La subsidence avait pour résultat de rapidement enfouir, donc de conserver les sédiments déposés. Les forages pratiqués dans le delta du Rhin ont ramené des carottes où alternent les couches marines et continentales. Sur la coupe schématique représentée à la figure 1, quatre transgressions marines sont nettement visibles. Naturellement les couches sont inclinées: elles se sont déposées en position horizontale, mais la subsidence plus rapide vers le large que sous le continent stable leur a donné leur inclinaison actuelle.

De nombreux auteurs hollandais se sont attachés à l'étude de ces sédiments. Spécialistes de la microfaune, des Invertébrés, des Vertébrés, des pollens et des conditions de sédimentation collaborent aux plus belles études connues de formations quaternaires. La dernière en date, parue à fin 1961 sous la plume de Zagwijn est un modèle du genre; elle porte sur une très petite portion de la coupe générale du delta, à la limite de la dernière transgression. Des forages à sec, en récupération complète, ont été exécutés dans le seul but de prélever des carottes dans la zone intéressante. Les plus profonds dépassent 60 m et, en tout, 1640

COUPE TRANSVERSALE SCHEMATIQUE DU DELTA DU RHIN

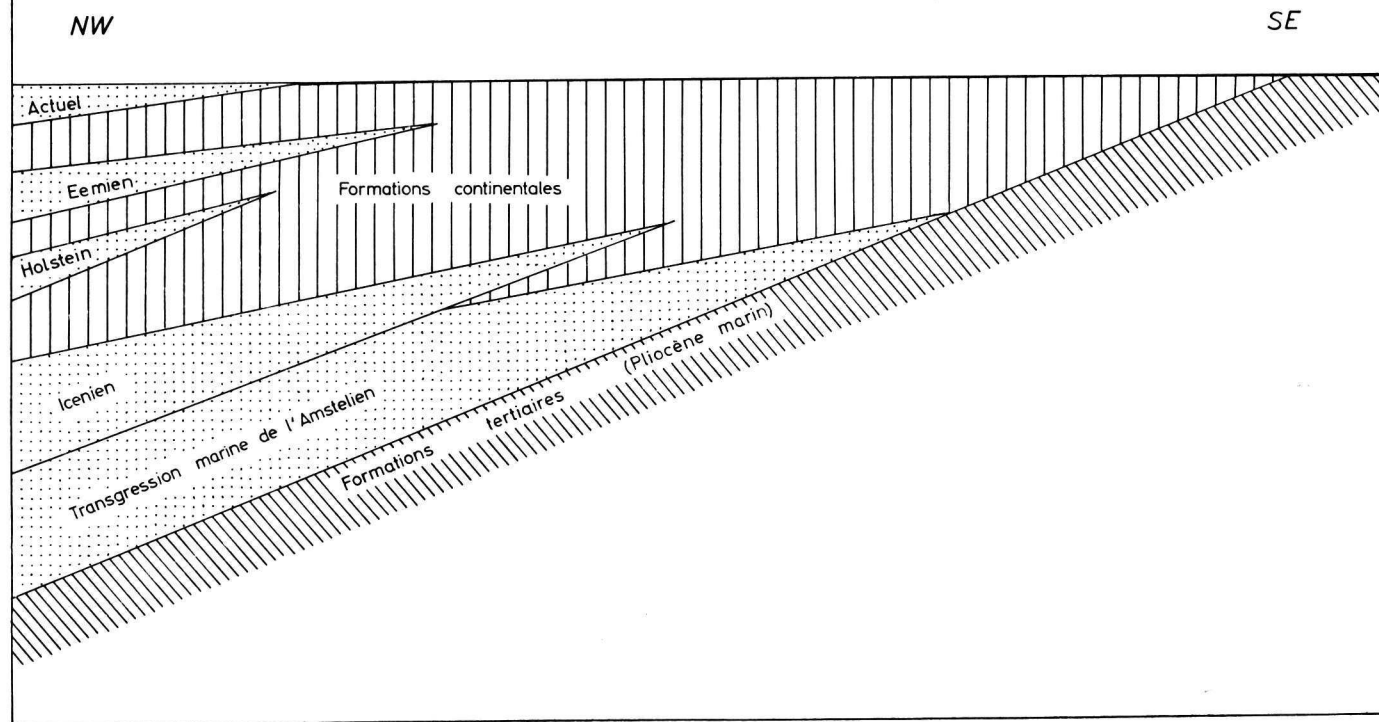


Fig. 1

m furent forés à ces fins strictement académiques. Les études polliniques peuvent être faites avec plus ou moins de précision et bien souvent les géologues se sont contentés d'analyses assez sommaires. Les études des Hollandais satisferont les plus exigeants: sur une carotte de 5,5 m, 19 000 grains de pollen furent recensés en plus des algues marines (Istricosphères), des algues d'eau douce (Pediastrum) et des Foraminifères. Des diagrammes aussi complets n'ont pas été nécessaires pour les 1 600 m de carotte; des portions entières étaient stériles, ce qui simplifia le travail, mais compliqua l'interprétation. En plus, 21 analyses du C_{14} furent faites dans le but de datages absolus, toutes analyses concentrées afin de dépasser les 30 000 ans qui représentent la limite de la méthode normale.

Tout ce travail a été mené à bien pour obtenir une idée exacte des variations climatiques lors de la première partie de la dernière grande glaciation. Une seule courbe climatique résume donc les résultats géologiques de cet immense labeur: mais c'est la première fois que cette courbe est établie avec précision et la connaissance exacte des variations climatiques est indispensable pour l'interprétation de tous les problèmes quaternaires. Les paléobotanistes qui étudient l'évolution de nos flores trouvent là également une mine inépuisable de renseignements, mais ceci est un autre problème.

Des études identiques furent exécutées en grand nombre surtout dans les pays du Nord de l'Europe et en Amérique. Elles ont permis des corrélations chronologiques satisfaisantes sur de grandes distances. La plupart tendent à montrer qu'il y eut six principales périodes froides séparées par des réchauffements importants avec reconstitution de la forêt sous nos latitudes. Certaines de ces périodes froides sont complexes, interrompues par des réchauffements momentanés.

De plus, ces études ont permis de prouver une fois de plus que les transgressions marines correspondent aux périodes chaudes: les pollens des sédiments marins de la Hollande sont ceux d'une forêt de climat tempéré. C'est presque une lapalissade d'affirmer que le niveau de la mer baisse lorsque son eau est stockée sur le continent sous forme de glaciers. Or cette vérité si élémentaire a mis plus de 50 ans à s'imposer et son histoire est fort instructive.

Le cas du delta du Rhin est une exception. Généralement les côtes, au lieu de s'enfoncer sous la mer, tendent à se soulever, pour des raisons qui nous échappent encore partiellement. Il semble que depuis le début des temps quaternaires, les rivages marins se soient soulevés d'une centaine de mètres. Ceci a eu pour conséquence de porter des

plages marines à une certaine altitude au-dessus du niveau actuel de la mer. On retrouve ces anciennes plages sous formes de terrasses plus ou moins sableuses et souvent fort riches en organismes marins. Très tôt est née l'hypothèse que ces anciennes plages correspondaient à des niveaux élevés de la surface des eaux, soit à des transgressions marines. Lors de ces transgressions, la mer pénètre dans les basses vallées des fleuves. Un golfe important s'est ainsi formé à plusieurs reprises dans la basse vallée du Rhône. Tout comme à la côte, des plages existaient le long de ces golfes, d'autant plus importantes même que le fleuve apportait dans le golfe de grandes quantités de sables et de graviers. Ces anciennes plages, soulevées avec tout le continent, jalonnent actuellement les basses vallées des principaux fleuves du monde, se raccordant tout à l'aval avec des terrasses marines (Fig. 2).

L'étude altimétrique de ces terrasses marines et fluviatiles fut entreprise, à la fin du siècle passé par un topographe et savant polytechnicien, le général de Lamothe. Supposant la surrexion des côtes constante, il suffisait de connaître l'altitude exacte d'une terrasse pour en connaître l'âge. Ses mesures lui montrèrent qu'en effet l'on trouve des terrasses à des altitudes telles que + 30 m, + 60 m, + 100 m. Ces terrasses reçurent des noms qui devinrent des étages géologiques: le Sicilien, le Calabrien, le Monastirien, le Milazzien, etc... Depuis, on s'est aperçu, grâce à des études paléontologiques, que deux terrasses de même âge pouvaient être à des altitudes fort différentes et que les critères altimétriques étaient nettement insuffisants. Mais, ce qui est plus grave, c'est que, suivant les terrasses fluviatiles en direction de l'amont, de Lamothe les vit prendre de la pente et passer aux moraines frontales des grandes glaciations. Et son observation était superficiellement exacte; il ne fit pas de stratigraphie et ne vit point que les nappes de graviers issues des moraines frontales à une époque où la mer était en régression passaient sous les alluvions des terrasses, déposées lors de la transgression marine couplée à l'interglaciaire suivant. Faute de cette observation capitale, dans son schéma, les transgressions correspondaient aux glaciations (Fig. 2).

Le dogme ridicule de de Lamothe eut la vie longue. Il avait pour lui d'être simple à concevoir et il était appuyé par la pseudo-précision que confèrent souvent des chiffres exacts à des données fausses. Pour l'abattre, il a fallu une immense accumulation de preuves du contraire, dont les plus frappantes sont d'ordre paléontologique. Dans la vallée du Rhône, les terrasses fluviatiles contiennent des faunes africaines. Faire remonter ces faunes à la rencontre des glaciers, c'était, disait Laf-

fite, les envoyer à des sports d'hiver auxquels elles ne sont pas habituées ! De plus ce dogme avait passé dans les livres et traités d'étude et il est bien connu que l'homme renonce rarement à un schéma appris lors de ses études. Il se trouve encore des auteurs, surtout parmi les archéologues, pour défendre cette hypothèse généralement abandonnée.

Voilà peut-être les deux plus grosses erreurs de la géologie du quaternaire en train de disparaître. Et leur correction est d'autant plus importante que les découvertes archéologiques sont fréquentes sur ces terrasses marines et fluviatiles. Il faut reconnaître que les géologues n'ont pas de schéma simple à proposer en remplacement de celui de de Lamothe. Chaque plage présente un cas particulier, à étudier pour lui-même et cette absence de solution passe-partout est peu satisfaisante pour l'esprit humain.

Une échelle stratigraphique très précise, comme celle que les auteurs hollandais élaborent, n'est souvent pas directement utilisable ailleurs. Les conditions locales ont déterminé une sédimentation discontinue et les plages surélevées, exposées à l'altération et à l'érosion, sont d'autant plus mal conservées qu'elles sont plus anciennes. L'absence assez générale des grains de pollen empêche des attributions chronologiques précises. Mais la signification climatiques des plages élevées est cependant assez bien connue grâce aux faunes qui y sont contenues : elles correspondent aux périodes chaudes et des parallélismes sont quelque fois possibles avec les périodes chaudes de Hollande.

La difficulté est encore bien plus grande lorsque l'on s'attaque au problème des terrasses de la partie moyenne du cours des grands fleuves, tel le Rhin. Ces terrasses sont le lieu de découvertes archéologiques extrêmement importantes ; la plupart des stations de définition des industries du Paléolithique inférieur s'y trouvent : Chelléen dans la terrasse de la Marne, Acheuléen dans la terrasse de la Somme, Clactonien dans la terrasse de la Tamise, etc... Quelle est l'origine de ces terrasses ? La question est controversée. La plupart des traités d'archéologie consultés n'abordent même pas cette question et se rangent dans des schémas simples, contradictoires et logiques :

- Pour les uns, la remontée du niveau des mers pendant les périodes chaudes a pour conséquence de diminuer la pente moyenne des vallées. Le fleuve s'y écoule moins vite, il est incapable de transporter sa charge solide qui si dépose sous forme de plaine alluviale. Que le niveau de la mer vienne à baisser, ce qui se produira lors de la prochaine glaciation, et le fleuve s'enfoncera dans cette plaine alluviale qui deviendra une terrasse.

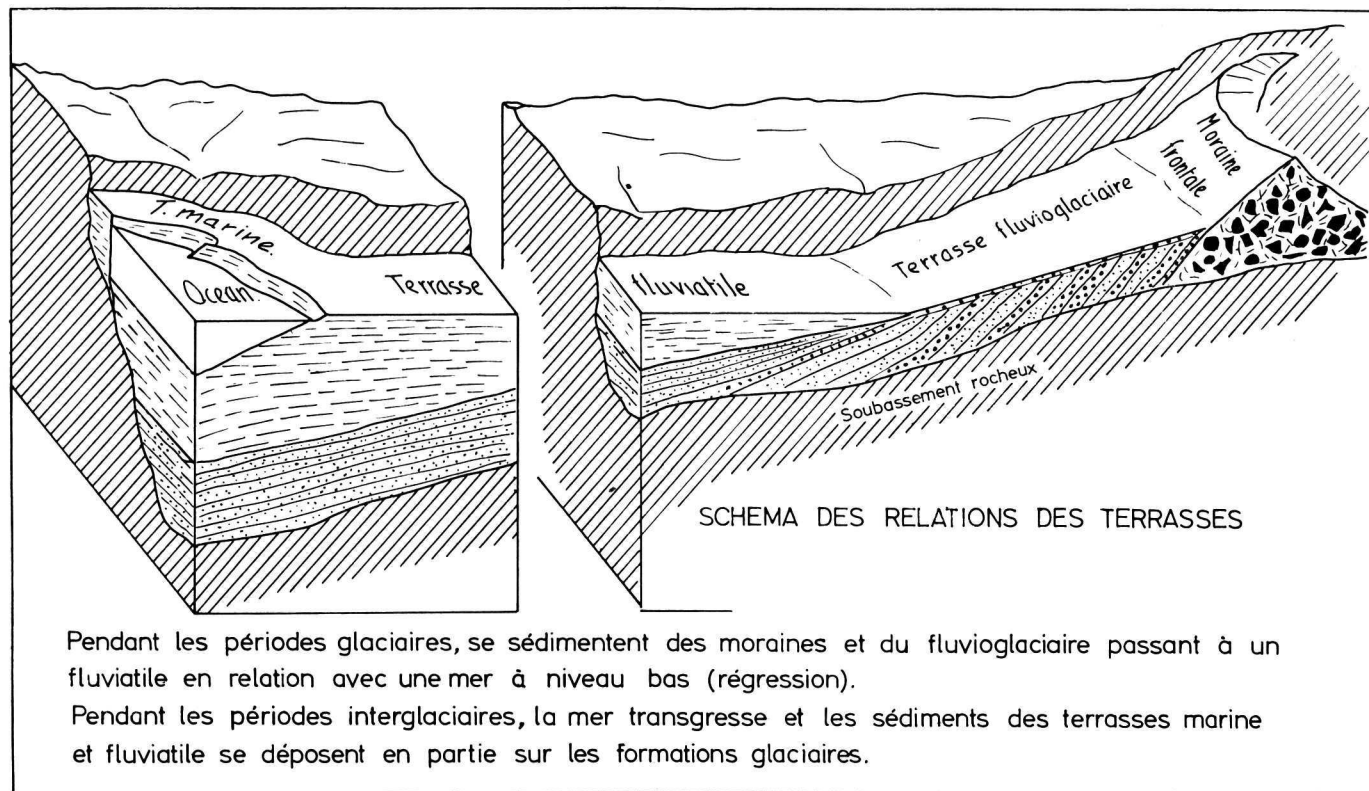


Fig. 2

— Pour les autres, au contraire, c'est pendant les périodes froides que les terrasses s'édifient: l'absence de végétation facilite les processus d'altération et d'érosion; les cours d'eau ont à transporter une trop grande quantité de graviers et de sables qui se déposent sous forme d'une plaine alluviale. Pendant les périodes chaudes, le tapis végétal fixe les terrains, les cours d'eau régularisés creusent leur lit.

Telles sont les deux hypothèses, la première dite eustatique, et l'autre climatique, de l'origine des terrasses fluviales. Les choses ne sont pas aussi simples. Les deux derniers traités de Géologie du Quaternaire (Flint, New-York 1958 et Woldstedt, Bonn 1960) abordent ce problème avec beaucoup de prudence. Tous deux s'accordent à reconnaître qu'aucun de ces schémas n'a de valeur générale. Des observations faites dans le Sud semi-désertique des Etats-Unis ont montré que des rivières voisines, sous des conditions climatiques identiques pouvaient, les unes alluvionner, les autres éroder, sans que l'on sache exactement le pourquoi de ces différences. Les trop rares analyses pratiquées dans les coupes des terrasses montrent que souvent le temp d'accumulation est à cheval sur une glaciation et un interglaciaire ou même davantage, au total mépris des fluctuations du niveau de la mer et du tapis végétal. Chaque terrasse représente un cas particulier, nécessitant une étude particulière, étude qui n'arrive d'ailleurs pas toujours à des résultats très solides. Il ne faut pas demander à la Géologie des précisions qu'elle ne peut pas fournir.

Pour montrer à quel point les Archéologues peuvent mal saisir les nuances de notre discipline, voici un petit paragraphe extrait d'un des derniers volumes de la collection « Que sais-je », concernant la Préhistoire (*L'Age de la Pierre*, par Denise de Sonnevile Bordes, paru à fin 1961):

« ... dans son cours inférieur, surtout dans son estuaire, où l'abaissement du niveau de la mer consécutif à la rétention d'eau considérable qui marque la phase d'avancée de l'Inlandsis, contraint le fleuve à rétablir son profil d'équilibre pour rejoindre son niveau de base abaissé, le cours d'eau surcreuse son lit, formant des terrasses d'origine eustatique. »

Or il n'y a pas de surcreusement, ce terme étant réservé aux contre-pentes du profil longitudinal qui ne prennent naissance que par érosion glaciaire. Le fleuve donc, simplement, creuse son lit. Or, si le fleuve creuse son lit, il ne construit pas une terrasse eustatique, puisqu'une telle terrasse est un phénomène d'accumulation.

En pays glaciaire, les recherches sont peut-être un peu plus aisées qu'en pays de terrasses fluviales. La question du nombre des glaciations est en somme assez peu importante archéologiquement parlant. Les sédiments morainiques et périglaciaires ne contiennent que de très rares restes humains. Le loess cependant peut se montrer assez riche en industries: sablons transportés par le vent, leur accumulation est contemporaine des grandes glaciations. Mais les glaciations sont un des phénomènes les plus marquants du Quaternaire et des corrélations ont très tôt été tentées entre les industries humaines et les glaciations. Deux positions s'affrontent: les Monoglacialisistes qui admettent l'existence d'une seule glaciation, et les Pluriglacialistes, qui en admettent plusieurs. Le Monoglacialisisme a encore ses adeptes et la chose peut surprendre étant donné le nombre de preuves de la pluralité des glaciations. Ils se recrutent le plus souvent parmi les Archéologues et les plus sérieux: Marcelin Boule a défendu toute sa vie cette hypothèse et Nestourk y est toujours fidèle. La chose se comprend assez bien. Dans les gisements qu'ils fouillent, les Archéologues ont surtout affaire à des restes de Mammifères. Or les Mammifères sont un mauvais fossile de faciès, un mauvais indicateur de température. La faune très riche de la fin du Tertiaire s'est appauvrie progressivement sous l'influence des premières glaciations. De nombreuses espèces thermophiles résistèrent d'autant plus facilement que les premières vagues de froid semblent avoir été modérées. Ce n'est que lors du Riss, avant dernière glaciation, que la faune a acquis son caractère « froid », caractère qui s'amplifiera encore lors de la dernière glaciation: le Mamouth, le Renne, le Bœuf musqué et la Marmotte sont alors communs sous nos latitudes. Aussi beaucoup de chercheurs pensèrent à une glaciation unique, progressive, lente et régulière comme l'évolution de la faune.

Cette position devient de plus en plus insoutenable. Les faunes ont subi des variations de répartition analogues à celles des flores. Citons un exemple: le Mamouth vivait en Europe lors des deux dernières glaciations, mais pendant l'interglaciaire qui les sépare, l'Hippopotame vivait en Angleterre, ce qui signifie que les nappes d'eau ne gelaient pas en hiver.

Il est peu probable que les études géologiques des régions qui furent recouvertes par les glaciers apportent de très nouveaux éléments. Contrairement à ce que nous avons vu dans le delta du Rhin, la sédimentation des moraines est extrêmement discontinue. De plus, l'eau de ruissellement, pendant les interglaciaires, détruit rapidement ces formations meubles. L'exemple du Valais pourrait être cité comme un

cas extrême: les traces de la dernière glaciation y sont extrêmement abondantes, mais aucune trace de glaciation antérieure ne peut être signalée avec certitude.

Partis de problèmes assez simples, de données assez satisfaisantes, nous avançons dans la voie de l'incertitude; nous ne sommes pas au bout de notre chemin. L'Afrique joue en Préhistoire un rôle toujours plus important. Les variations climatiques s'y traduisent par des modifications importantes du régime des précipitations: périodes pluviales et interpluviales (ou arides) alternent au cours des temps quaternaires. Comme toujours, il y a plusieurs hypothèses pour expliquer ce phénomène. Certains auteurs pensent que les périodes pluviales correspondent aux glaciations; les fronts polaires seraient alors descendus vers le Sud, les zones tempérées et tropicales se ressèrent sur l'Equateur et ceci engendre un brassage atmosphérique très intense dont résultent des précipitations abondantes. D'autres chercheurs rattachent les Pluviaux aux Interglaciaires. Et les plus prudents pensent que les conditions climatiques n'étaient peut-être pas homogènes sur toute l'Afrique. Alors que le Congo était soumis à un régime de pluie, le Sahara pouvait connaître des conditions arides.

Pluviaux et Arides ont plusieurs manières de se manifester. Les grandes forêts n'ont jamais crû sur le Sahara qui, en période pluviale, se transformait en savanne. Les déserts migraient vers l'Equateur pendant les Arides, la forêt remontait vers les pôles pendant les Pluviaux. Les grands lacs africains, qui n'ont pas d'exutoires, fonctionnèrent comme d'immenses pluviomètres et, à chaque époque pluviale, leur niveau est monté, parfois de plusieurs dizaines de mètres. Des plages suspendues soulignent les anciens niveaux et c'est surtout par l'étude de ces plages, qui contiennent de nombreux restes humains, que la succession des Pluviaux et des Arides africains nous est connue. Les trois dernières périodes pluviales, datées par la méthode du C_{14} , se sont montrées plus récentes que 13 000 av. J.-C. On ne sait à quelles fluctuations climatiques européennes les paralléliser.

C'est au Sahara que l'incertitude est la plus grande. Les faunes fossiles y sont rares à cause des conditions peu favorables à la fossilisation. Les variations climatiques se traduisent par des modifications importantes du régime des oueds. Les terrasses qui bordent les oueds sont encore mal connues: comme les oueds n'arrivent pas à la mer, les corrélations avec les terrasses marines n'ont pas pu être faites. Par ailleurs, des croûtes se sont formées dans le sol, croûtes que l'on retrouve sur d'immenses superficies. Elles pourraient être utilisées dans la strati-

graphie à cause de leur constance même. Mais nous ignorons le mode de formation de ces croûtes et, par conséquent, leur signification climatique. Certains auteurs y voient des dépôts dus à des eaux chargées de sels, montant de la profondeur par capillarité et s'évaporant en surface: les conditions seraient donc à la chaleur et à la sécheresse. D'autres au contraire pensent à des eaux de précipitations descendant vers la profondeur après avoir lessivé la surface du sol: le climat serait alors humide et chaud.

Nous voici donc dans les problèmes les plus complexes qui puissent être posés au géologue. Il a devant les yeux les preuves de variations climatiques, mais il n'est pas à même de savoir quelles variations. Le jour où il le saura, il ne pourra préciser leur âge et les corrélér à la stratigraphie européenne. Ceci est d'autant plus regrettable que le Sahara a livré de très riches industries préhistoriques. Leur évolution est partiellement différente de celle des industries européennes et il serait capital d'en connaître l'âge. Un des cas les plus troublants est celui de certaines civilisations du Sud du Sahara et de la boucle du Niger. Les conditions actuelles y sont d'une extrême aridité; cependant les traces d'occupation humaine pullulent: pierres taillées, vases, poteries, peintures rupestres, etc. Les peintures permettent un inventaire assez complet de la faune qui peuplait alors la région: autruches, hippopotames, poissons, tortues, chevaux, bovins, plusieurs espèces attestant des conditions assez humides permettant au moins à la steppe de se développer. Il s'agit donc d'une période pluviale. Elle ne peut être contemporaine de la dernière glaciation: les industries étaient alors beaucoup plus primitives. Cette époque pluviale est donc post-glaciaire et les météorologues ont trouvé une explication satisfaisante. Ce Pluvial, en effet, dépendrait des moussons atlantiques, lesquelles sont actuellement retenues dans leur pénétration du continent africain par des vents soufflants du N.-E. (vents étésiens) et dépendent de la position du front polaire. Pendant les glaciations, ce front descendant vers le Sud, ces vents empêchent complètement l'arrivée de la mousson. Lors des postglaciaires, les fronts polaires remontèrent vers le Nord, davantage même qu'ils ne le sont actuellement. La mousson pénétra et une brève période pluviale permit l'installation humaine dans le Sud du Sahara. D'après les industries, il semble que les immigrants soient venus du Sud.

Et voici un cas où les géologues ont dû céder la place aux climatologues pour tenter une explication. Plusieurs tentatives ont été faites récemment ou sont en cours pour venir au secours de la Géologie.

Toutes ne sauraient être évoquées ici, mais il vaut la peine d'en signaler quelques-unes.

Les grands fonds marins sont le lieu rêvé d'une sédimentation régulière, lente et continue. Quelques millimètres de sédiments s'accumulent en 1 000 ans. Aussi, lorsque le professeur Kullenberg, de Göteborg, mit au point un tube lui permettant de retirer des carottes de plus de 20 m de long, il espérait bien arriver à établir une coupe complète des assises quaternaires. Plusieurs méthodes furent appliquées pour l'étude de ces carottes.

La première fut un recensement des Foraminifères contenus dans les sédiments. Pour ce faire, la carotte est débitée en tranches de quelques cm d'épaisseur et pour chaque tranche, un inventaire complet des Foraminifères est établi. En partant du principe que la couche la plus superficielle représente la faune chaude actuelle, il est assez facile d'interpréter les variations découvertes dans les parties plus profondes du sédiment. On obtint ainsi une courbe (Fig. 3) qui fut considérée comme représentative des fluctuations climatiques de la dernière glaciation. Apparemment, la sédimentation avait été plus rapide que prévue, puisque 10 m de sédiments s'étaient déposés en 100 000 ans.

Puis le même travail fut repris, par une tout autre méthode, sur la même carotte. C'est une méthode physique qui consiste à doser les différents isotopes de l'Oxygène. En période chaude, l'isotope O_{18} est plus abondant qu'en période froide. Le carbonate de calcium, $CaCO_3$ du squelette des Foraminifères, se prêtait fort bien à cette étude. La courbe des variations climatiques ainsi obtenue est bien plus complexe que celle donnée par le recensement des Foraminifères (Fig. 3). L'interprétation des deux courbes diffère totalement puisque les physiciens qui utilisèrent la méthode à l' O_{18} pensent retrouver dans la carotte de 10 m les traces de 4 glaciations.

Les Astronomes se sont également penchés sur ce problème des glaciations, cherchant leur origine dans des variations de la quantité de calories nous arrivant du soleil. Trois types de mouvements périodiques sont susceptibles d'engendrer de telles variations:

1. Les variations de l'inclinaison de l'axe de la terre. S'il était perpendiculaire sur le plan de l'écliptique, les pôles auraient en permanence le soleil sur l'horizon, l'équateur le soleil toujours sur le plan zénital. Il n'y aurait plus de saison, mais des zones climatiques très marquées. Inversément, si l'axe s'incline, les zones climatiques tendent à disparaître et les saisons se font très contrastées.

Interprétation et comparaison de deux courbes des
variations climatiques obtenues sur la même carotte
de sédiments marins profonds
par le recensement
des Foraminifères

par l'étude des isotopes
de l'Oxygène (O_{18})

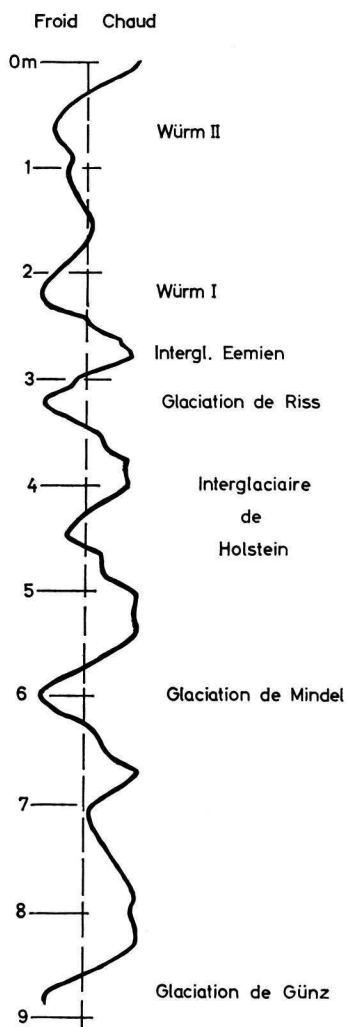
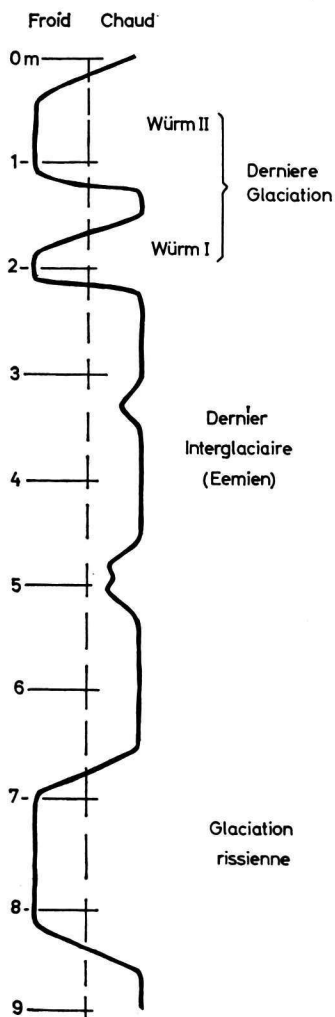


Fig. 3

2. Le phénomène de précession des équinoxes. Actuellement le moment où le soleil et la terre sont le plus rapprochés se trouve en hiver. Mais grâce au phénomène de précession des équinoxes, le jour viendra où cette périhélie se trouvera en été (pour l'hémisphère Nord). La courte distance de la terre au soleil s'ajoutera à l'été pour déterminer des saisons particulièrement chaudes.
3. Les variations de l'excentricité de l'orbite terrestre. Plus cette excentricité est forte, plus la terre est susceptible de s'approcher du soleil, donc plus elle pourra en recevoir, momentanément, une grande quantité d'énergie. Lors de l'aphélie, la quantité d'énergie reçue sera particulièrement faible.

Ces trois facteurs subissent des variations dont la période va de 15 à 30 000 années. Le calcul de leurs combinaisons est une chose compliquée et qui doit être refait pour chaque latitude puisque le fait que la périhélie tombe en été ou en hiver n'est valable que pour l'un des hémisphères. Bref, ces mouvements s'ajoutent les uns aux autres, s'additionnent ou se soustraient et, après de nombreux calculs, il est possible de dessiner la courbe de la quantité d'énergie solaire en fonction du temps, ou courbe du « climat solaire ». Cette courbe a été calculée pour un million d'années en arrière. Si elle était exacte, elle aurait l'avantage de nous donner une idée de la chronologie absolue des glaciations.

Hélas, en tant que géologues, nous avons toutes les raisons de croire que cette courbe ne correspond pas à la réalité. Elle n'indique pas les mêmes fluctuations que les courbes établies et datées par les Hollandais dans leur delta du Rhin. Les différences avec les mesures au radiocarbone sont assez considérables. Or les mesures au radiocarbone sont souvent contrôlables par des faits et des dates historiques: la méthode semble donc bonne. Ces restrictions faites, il faut se garder de croire que cette recherche par voie astronomique soit vouée à la stérilité. Il semble que certaines variables n'ont pas encore été prises en considération; il y a une cinquantaine d'années que les Astronomes poursuivent leurs calculs et, à considérer la littérature, il est clair que les résultats s'améliorent avec le temps. Une connaissance toujours meilleure des variations des mouvements de la terre permettra de cerner mieux le problème. Et il est probable que les satellites artificiels permettront de préciser les variations de la « constante solaire » et les relations qui unissent le climat solaire et le climat terrestre.

Un nouvel espoir vient d'apparaître du côté des glaciologues: l'étude physique de très longues carottes de glace prélevées dans les grands inlandsis groënlandais et antarctiques. Ces inlandsis contiennent des

glaces extrêmement anciennes dont certaines datent peut-être du début des temps quaternaires. Le dosage du Tritium permettra de les dater et l'étude des isotopes de l'Oxygène de préciser les conditions climatiques de leur formation.

Enfin le géologue s'adresse souvent au Préhistorien pour essayer d'étayer sa stratigraphie. L'Homme lui-même est un mauvais fossile à cause de sa rareté. Mais ses traces, surtout sous forme d'industries lithiques le sont beaucoup moins. H. Alimen signale, par exemple, que sur certains regs du Sahara, les bifaces sont tellement abondantes que les balises de pistes sont constituées par des empilements de bifaces récoltés sur la surface du reg où ils se trouvent par centaine de mille. Pour plusieurs raisons ces industries sont d'assez mauvais fossiles. Leur évolution est lente, beaucoup plus lente, pour le Pleistocène inférieur (qui représente plus des 2/3 du Quaternaire), que les fluctuations climatiques. De plus nous ne savons pas encore à quelle vitesse ces industries se sont répandues sur la surface du globe. Rien ne prouve que deux haches identiques, trouvées aux antipodes, soient du même âge.

Je pense avoir évoqué suffisamment de problèmes pour avoir montré la complexité de ceux-ci et les limites des méthodes géologiques. Malgré toutes ses imperfections et ses imprécisions, le côté géologique du vaste problème des origines de l'homme n'est peut-être pas le plus mal éclairé de tous.

En Préhistoire même, les interprétations sont peut-être plus aléatoires qu'en Stratigraphie et elles sont certainement plus passionnées. Plus aléatoires d'abord. Il n'est que de considérer les discussions de nomenclature. L'abbé Breuil introduit le terme d'Abbevilién, il est rejeté, par votation, lors d'un congrès de Préhistoire. Breuil crée le terme de Tayacien, on parle, maintenant, d'une industrie fantôme. Des exemples de ce genre existent en grande quantité. Plus passionnée ensuite. Il suffit de rappeler que c'est la Préhistoire qui a fourni le plus de fausses pièces et les faux les plus célèbres. Le dernier en date, et le plus important, l'homme de Piltdown a violemment secoué cette discipline et nombreux sont ceux qui n'en sont pas remis. Cet homme, constitué du crâne d'un londonien moderne et d'une mâchoire de singe fut « découvert » dans un gisement artificiel, truffé de faux fossiles importés d'Afrique et artificiellement vieillis, de faux outils, dans des formations du Quaternaire ancien. Cet homme très ancien avait donc une boîte crânienne d'apparence moderne; d'après des moulages endocraniens, ses circonvolutions étaient extrêmement simplifiées. Après cela, il est permis de se poser des questions sur la valeur de l'interpré-

tation des moulages endocraniens. Il est d'ailleurs assez amusant de regarder les reconstitutions faites à l'époque: elles ne ressemblent guère à un Londonien actuel ! Notons au passage que quelques très rares anthropologistes, dénièrent, dès le début, toute valeur à ce « fossile » (Weidenreich, von Königswald). A partir de cet homme très ancien et d'allure moderne, toute une lignée fut créée. Ceux qui ont lu les œuvres du Père Thélard de Chardin sont familiarisés avec cette lignée ancienne, dite des « présapiens » (si le P. Thélard de Chardin ne parle pas de Piltdown, c'est que des censeurs bien intentionnés ont supprimé ce qu'il en avait dit dans l'édition de ses œuvres complètes). Que reste-t-il de cette lignée, 10 ans plus tard ? Rien ou presque: les auteurs rattachent actuellement les hommes de cette lignée aux Néanderthaliens, ce qui, d'ailleurs, avait été proposé depuis fort longtemps.

Il est probablement normal que, lorsqu'il s'agit de l'homme, les discussions prennent un tour passionné qu'elles n'ont pas obligatoirement ailleurs. Le problème religieux se mêle au problème scientifique, ce qui ne simplifie pas la discussion. Il semble néanmoins que progressivement l'atmosphère s'éclaircisse. Il nous reste encore à espérer que Archéologues et Préhistoriens reçoivent de plus en plus une formation scientifique et non littéraire comme maintenant: ceci ne troublerait pas leurs investigations et faciliterait le dialogue dont nous avons tous besoin.

ENSEIGNEMENTS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES RESULTANT DE L'ETUDE DE RECENTS BARRAGES EN SUISSE

(celui de la Grande Dixence en particulier) ¹

par N. Oulianoff

Professeur honoraire de l'Université de Lausanne

1. — L'histoire de la construction de très grands barrages en Suisse commence par celui de Barberine mis en chantier en 1921. Il est vite devenu célèbre comme premier construit en haute montagne (à l'altitude de 1890 m). Cela signifie que les constructeurs ont été obligés

¹ Cet article a paru dans « Les congrès et colloques de l'Université de Liège », 1959, volume 14.